



Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung

Jörg Albertz ¹

¹ *Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin,
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **85** (4), S.
251–259

1997

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Albertz_VGI_199731,  
  Title = {Information aus Bildern -- 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie  
    und Fernerkundung},  
  Author = {Albertz, J{"o}rg},  
  Journal = {VGI -- {"O}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
    Geoinformation},  
  Pages = {251--259},  
  Number = {4},  
  Year = {1997},  
  Volume = {85}  
}
```



Ich habe meine Laudatio mit einer kleinen persönlichen Geschichte begonnen; ich möchte sie mit einer kleinen Begebenheit, die für Karl Neumaier typisch ist, beenden. Anlässlich der Weihnachtsfeier am Institut am 18. Dezember dieses Jahres hat er Prof. Waldhäusl und mir ein Buch (Knaur-Verlag) des Physikers und Wissenschaftsjournalisten Robert Matthews mit dem Titel „Und Gott hat doch gewürfelt“ geschenkt. Der Titel spielt auf den berühmten Satz Albert Einsteins „Gott würfelt nicht“ an. Einstein hat mit diesem Satz seine Kritik an den Ungewißheiten in der Quantentheorie, insbesondere an der Heisenbergschen Unschärferelation, zusammengefaßt. Die heute diskutierten naturwissenschaftlichen Weltbilder, die Herr Matthews in seinem Buch gekonnt beschreibt, enthalten noch viele Rätsel, m.a.W., sie kommen ohne die ‚Würfel Gottes‘ nicht aus. In dem breit angelegten Buch gibt es auch Themen wie ‚Die Suche

nach dem Schlüssel des Lebens‘, ‚Alfred Wegener und seine wandernden Kontinente‘, ‚Chaos im grandiosen Uhrwerk‘, ‚Sind wir allein im Universum?‘, ‚Die Ausmaße des Universums‘ etc. In diesem Buch, das beim Lesen eine beachtliche Konzentration erfordert, liest unser 100-jähriger Jubilar, so hat er uns beim Überreichen des Buches gesagt, gegenwärtig jeden Tag etwa 1 1/2 Stunden.

Prof. Dr. Karl Neumaier kann auf ein interessantes und reiches Leben zurückblicken. Es ist der Hinweis angebracht, daß er viele Studierende im In- und Ausland in Photogrammetrie ausgebildet hat und sie für dieses interessante Fachgebiet begeistern konnte. Viele seiner ehemaligen Schüler sind und waren an leitenden Positionen im öffentlichen Dienst und in der Privatwirtschaft tätig. Sechs seiner ehemaligen Schüler wurden Universitätsprofessoren.



Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung¹

Jörg Albertz, Berlin

Für die ehrenvolle Einladung, im Rahmen der Festveranstaltung zum 100. Geburtstag von Altpräsident Prof. Dr. Karl Neumaier zu sprechen, darf ich mich herzlich bedanken. Es ist mir eine besondere Freude, dem Jubilar die Grüße der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung überbringen zu dürfen. Er ist nicht nur das an Lebensjahren älteste Mitglied unserer Gesellschaft, auch der Zeitraum seiner Mitgliedschaft ist enorm: vor Jahrzehnten ist er der Gesellschaft beigetreten und hat ihre Arbeit durch seine Mitgliedschaft bis zum heutigen Tage unterstützt.

Als Thema für diesen Vortrag habe ich gewählt »Information aus Bildern – 100 Jahre Entwicklung in Photogrammetrie und Fernerkundung«. Werfen wir dazu erst einen kurzen Blick auf die Vorgeschichte.

1. Aus der Vorgeschichte der Photogrammetrie

Am 3. Juli 1839 erstattete der Physiker Dominique François Arago (Abb. 1) der französischen



Abb. 1: Dominique François Arago (1786–1853)

Deputiertenkammer einen Bericht, der zum Ankauf der Erfindung von Joseph Nicéphore

¹ Für den Druck überarbeitete Fassung des am 8. Januar 1998 während der Festveranstaltung zum 100. Geburtstag von Professor Karl Neumaier gehaltenen Vortrags.

Niépce (1765–1833) und Louis Jacques Mandé Daguerre (1787–1851) durch die französische Regierung führte. Kurz danach, am 19. August 1839, konnte er der französischen Akademie der Wissenschaften in einer denkwürdigen Sitzung die Erfindung der Photographie in allen Einzelheiten bekanntgeben.

Bei beiden Gelegenheiten hat der offenbar sehr weitblickende Arago auf die Möglichkeiten zur Ausmessung photographischer Bilder hingewiesen: »Die photographischen Bilder, wenn man sie in ihrer Formation den Regeln der Geometrie unterwürfe, würden es zulassen, unter der Beihülfe nur weniger gegebener Punkte, genauere Messungen der höchsthabenen, unzugänglichsten Stellen von Gebäuden zu veranstalten.« (zitiert nach [9] S. 151). Und an anderer Stelle sagt er, »daß man sich der Hoffnung hingeben darf, daß wir photographische Karten von unserem Trabanten (Mond) werden machen können.« (nach [5] S. 306). Der in die Begutachtung einbezogene Chemiker Louis Joseph Gay-Lussac (1778–1850) erklärte in diesem Zusammenhang in seinem Bericht an die französische Pairskammer vom 30. Juli 1839: »Die Perspektive einer Landschaft und jedes Gegenstandes ist mit einer mathematischen Genauigkeit dargestellt ...« (nach [5] S. 312). Beide haben also die Tragweite der Erfindung schon sehr früh erkannt und den Grundgedanken der Photogrammetrie vorweggenommen, nämlich die Nutzung der in Photographien gespeicherten geometrischen Informationen.

Diese Erkenntnisse blieben freilich zunächst ohne unmittelbare Auswirkung. Die ersten Versuche zur Verwendung von Photographien als Meßbilder wurden offenbar unabhängig von diesen Aussagen rund 20 Jahre später unternommen. Sie sind untrennbar verbunden mit den Namen Aimé Laussedat (1819–1907), der in Frankreich an der topographischen Aufnahme arbeitete, und Albrecht Meydenbauer (1834–1921), der in Deutschland zum Pionier der Architekturphotogrammetrie wurde.

Ein anderer Pionier der Photogrammetrie und Fernerkundung ist zu nennen: Gaspar Félix Tournachon, genannt Nadar (Abb. 2). Er begann 1858 mit Versuchen zur Aufnahme von Luftbildern aus Ballons mit dem Ziel, topographische Aufnahmen durchzuführen: »Ein sicherer gefeselter Ballon und ein guter photographischer Apparat, das ist alles, was ich brauche, um jede kleinere oder größere Erdfläche genauer aufzunehmen und zu vermessen, als es mittels Triangulation, Graphometer und Meßkette geschehen kann.« (nach [9] S. 151). Mit dem damaligen

technischen Stand war dies aber noch nicht realisierbar und Nadar mußte viel Spott einstecken, der u.a. in der bekannten Karikatur von Honoré Daumier zum Ausdruck kommt (z.B. in [9] Abb. 62).

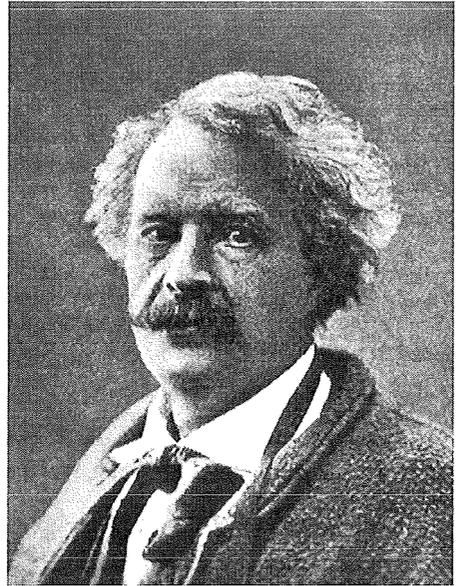


Abb. 2: Gaspar Felix Tournachon, genannt Nadar (1820–1910)

Rückblickend muß man die genannten wie auch zahlreiche andere Aktivitäten als Vorläufer einer Entwicklung sehen, deren eigentliche Blütezeit erst viel später folgen sollte. Aber wichtig ist, daß schon damals zwei Aspekte klar erkannt waren:

1. Photographische Bilder enthalten aufgrund der bei der Aufnahme gültigen Abbildungsgesetze detaillierte Informationen über die wiedergegebenen Objekte.
2. Durch die Kenntnis der Abbildungsgesetze wird es grundsätzlich möglich, diese Informationen für viele Zwecke nutzbar zu machen.

Folgerichtig stand die ganze weitere Entwicklung unter den beiden Zielsetzungen,

1. die Verfahren zur Gewinnung von Bildern zu verbessern und vor allem auch zu erweitern, und
2. Methoden zur Auswertung von Bildern zu erarbeiten und die dazu erforderlichen technischen Hilfsmittel zu entwickeln.

In diesem Sinne begann der Aufbruch in die Blütezeit von Photogrammetrie und Fernerkundung vor rund 100 Jahren, gegen Ende des vorigen und zu Beginn dieses Jahrhunderts.

2. Aufbruch vor etwa 100 Jahren

Innerhalb weniger Jahre sind mehrere Marksteine der Entwicklung zu verzeichnen, die sich skizzenhaft wie folgt beschreiben lassen:

- 1885 wird in Berlin die *Königlich Preußische Meßbildanstalt* gegründet und Albrecht Meydenbauer mit der Leitung beauftragt. Damit findet die von ihm entwickelte Architekturphotogrammetrie öffentliche Anerkennung. In den Folgejahren entsteht ein einmaliges Meßbildarchiv zur Dokumentation von bau- und kunstgeschichtlich wichtigen Denkmälern.
- In den neunziger Jahren wird vor allem in Österreich systematisch die terrestrische Photogrammetrie zur topographischen Aufnahme im Gebirge eingesetzt, u.a. in den Julischen Alpen, den Karawanken und der Hohen Tatra.
- Ab 1900 beginnt mit dem Bau des Stereokomparators unter Carl Pulfrichs Leitung die Einführung des stereoskopischen Meßprinzips, das die photogrammetrische Auswertung revolutionieren sollte.
- Und 1908 erfindet Eduard von Orel in Wien den Stereoautographen, der die stereoskopische Messung unmittelbar mit der Kartierung verbindet. Daraus entstehen mehrere Generationen von stereophotogrammetrischen Auswertegeräten, die nach unserem heutigen Sprachgebrauch Analogrechner darstellen und der Photogrammetrie zum Durchbruch verholfen haben.
- Schließlich wird die Aufnahme von Luftbildern entwickelt, zunächst noch von Ballons aus. Aber mit dem Aufkommen der Luftschiffe und dann vor allem der Flugzeuge erhält die Photogrammetrie erst die zur systematischen Geländeaufnahme so wichtigen erhöhten »Standpunkte«.

Diese Entwicklungen können in dem gegebenen Rahmen nur kurz angedeutet werden. Einzelheiten sind in der Literatur zur Geschichte der Photogrammetrie reichhaltig dokumentiert (z.B. [4]). Außerdem ist auf den Festvortrag zu verweisen, den Gottfried Konecny im Juli 1996 bei der Eröffnung des 18. Internationalen Kongresses für Photogrammetrie und Fernerkundung in der Wiener Hofburg gehalten hat [7].

Es sollte jedoch nicht übersehen werden, daß bei all diesen Entwicklungen zunächst die in photographischen Bildern gespeicherten *geometrischen* Informationen im Vordergrund stehen. Für die Photogrammetrie sind die Grauwerte und die Farben eines Bildes – etwas überspitzt formuliert – kaum mehr als Mittel zum

Zweck; sie dienen zum Erkennen von Objekten und zum Identifizieren von Objektpunkten. Tatsächlich sind sie aber viel mehr als das, denn sie stellen *radiometrische* Informationen dar, die über physikalische Eigenschaften der aufgenommenen Objekte Auskunft geben. Und die Bilder erfassen auch strukturelle Zusammenhänge, geben »Bildgestalten« wieder, die sich nicht durch einfache Messungen, sondern erst durch eine Interpretation erschließen. Davon macht speziell die Fernerkundung Gebrauch. Auch dazu wurde der Grundstock in der Aufbruchzeit vor rund 100 Jahren gelegt.

Die ursprünglichen photographischen Schichten waren bekanntlich für violette und blaue Strahlung empfindlich, während Grün, Gelb, Orange und Rot fast wirkungslos blieben. Die Folge davon war, daß die von uns Menschen in unserer Umwelt wahrgenommenen Helligkeiten in den photographischen Bildern nur sehr unvollkommen in Grauwerte umgesetzt wurden; die vielzitierten roten Rosen wurden praktisch schwarz wiedergegeben.

Es war der Photochemiker Hermann Wilhelm Vogel (Abb. 3), dem es erstmals gelang, die photographischen Schichten durch Anfärben des Bromsilbers mit geeigneten Farbstoffen auch für grüne und gelbe Strahlung empfindlich zu machen [9]. Schrittweise kam man danach der »tonrichtigen Wiedergabe« – wie man dies nannte – näher. Dies war auch eine der Voraussetzungen für die Entwicklung der Farbenphotographie. Die Erzeugung farbiger Bilder wurde mit



Abb. 3: Hermann Wilhelm Vogel (1834–1898)

verschiedenen Verfahren schon im vorigen Jahrhundert verfolgt. Es hat aber noch bis Mitte der dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts gedauert bis die Firmen Kodak und Agfa kurz hintereinander mehrschichtige Farbfilme zum allgemeinen Gebrauch auf den Markt brachten. Zur Aufnahme von farbigen Luftbildern werden besondere Anforderungen an das Filmmaterial gestellt. Deshalb sind zwar schon ab 1937 Farbluftbilder gewonnen worden [5], üblich wurden sie aber erst einige Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg.

3. Unsichtbares wird sichtbar gemacht!

Die weitere Entwicklung der Verfahren zur Gewinnung von Bildern läßt sich durch das Schlagwort kennzeichnen: Unsichtbares wird sichtbar gemacht! Das Spektrum der elektromagnetischen Strahlung umfaßt ja auch Wellenlängen, die für unser menschliches Auge nicht sichtbar sind. Zu nennen ist vor allem das an das Sichtbare Licht direkt anschließende Nahe Infrarot, dann die Wärmestrahlung (Thermal-Infrarot) sowie die Mikrowellenstrahlung mit Wellenlängen von mehreren Zentimetern. Wenn es gelingt, Objekte in diesen unsichtbaren Strahlungsbereichen abzubilden, dann werden zwar ungewöhnliche Bilder entstehen, aber diese Bilder vermitteln für uns Menschen nicht direkt wahrnehmbare Informationen über die physikalischen Eigenschaften der Objektmaterialien und -strukturen.

Der Weg in die Sichtbarmachung des Unsichtbaren begann um das Jahr 1920, als es erstmals gelang, photographische Schichten in das infrarote Gebiet hinein zu sensibilisieren. Ab 1926 wurde zielbewußt darauf hingearbeitet, immer tiefer in den für den Menschen unsichtbaren infraroten Strahlungsbereich einzudringen [9]. Die Anfänge der Infrarotphotographie befaßten sich mit Schwarzweiß-Bildern. Diese zeigten – physikalisch leicht erklärbar – einerseits eine gute Fernsicht und andererseits die im Nahen Infrarot typische helle Wiedergabe von grüner Blattvegetation, die an Kronen von Laubbäumen besonders auffallend ist (Abb. 4). Luftbilder kamen vorerst nicht in Frage, denn die Empfindlichkeit infrarotempfindlicher Schichten war damals noch zu gering.

Während des Zweiten Weltkrieges wurde dann in den USA das Ziel verfolgt, die besonderen Reflexionseigenschaften im Nahen Infrarot für die militärische Aufklärung zu nutzen. Nach und nach führte dies zu den sogenannten *Falschfarben-Filmen*, die heute allgemein als *Farbinfrarot-Filme* bezeichnet werden. Robert N. Colwell berichtete 1956 erstmals über die

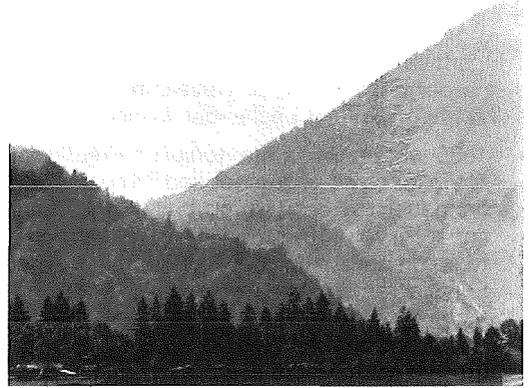


Abb. 4: Aus den Anfängen der Infrarotphotographie (um 1937, aus [2]). Aufnahme mit einer Isochromplatte (oben) und einer Agfa-Infrarotplatte (unten)

Nutzung solcher Filme zum Erkennen von Pflanzenschäden [6]. Heute sind Farbinfrarot-Filme, in denen Sichtbares und Unsichtbares gemischt wiedergegeben wird, aus der Fernerkundung nicht mehr wegzudenken. Ihre Anwendung hat einen deutlichen Schwerpunkt in der Beobachtung von Vegetationserscheinungen.

Um nun aber die unsichtbare Strahlung weiterer Wellenlängenbereiche zur Erzeugung von Bildern zu benutzen, bedurfte es anderer technischer Lösungen, denn da versagt die photographische Technik. Am wichtigsten sind die *Scanner-Systeme* und die abbildende *Radar-Technik*. Die Grundlagen dazu sind in den Lehrbüchern zur Fernerkundung vielfach dargestellt worden.

Mit den optomechanischen Scanner-Systemen kann u.a. auch die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung aufgezeichnet und in Bilder umgesetzt werden. Bei den ersten Flugzeugaufnahmen dieser Art in den sechziger Jahren wurde die von einem Detektor aufgenommene Strahlung verstärkt und zeilenweise sofort auf einen Film aufgezeichnet. Es entstand

ein Thermalbild, das die Temperaturverteilung an der Geländeoberfläche in bildhafter Form wiedergab. Die weitere Entwicklung führte nicht nur zu enormen technischen Verbesserungen, sondern auch zur routinemäßigen Anwendung dieser Aufnahmetechnik von Flugzeugen oder Satelliten aus. Für die Interpretation von Thermalbildern ist es besonders hilfreich, die Grauwerte in Farbstufen umzusetzen. Auf diese Weise entstehen Bilder, die beispielsweise die Temperaturverteilung der Meeresoberfläche in verschiedenen Farben wiedergeben. Wer hätte dies früher für möglich gehalten?

In einen ganz anderen Wellenlängenbereich führt uns die Radar-Technik, die mit Mikrowellen arbeitet, welche vom Flugzeug oder Satelliten ausgesandt werden. Die mit Radarsystemen gewonnenen Bilder machen die Echos sichtbar, die von der Erdoberfläche zurückkommen. Entwickelt wurde die abbildende Radartechnik um 1960. Sie führte schon in den frühen siebziger Jahren zu umfassenden Anwendungen; vor allem in tropischen Regenwaldregionen wurden ganze Bildkartenwerke erstellt. Die wirksamen physikalischen Zusammenhänge sind aber völlig anders als im sichtbaren Licht. Die Bilder wirken darum ungewohnt und sind oft schwer interpretierbar (Abb. 5). Ein wichtiger Vorteil der Radarsysteme ist, daß sie von Sonnenlicht und Wetterlage unabhängig sind und deshalb jederzeit Tag und Nacht eingesetzt werden können. Dem stehen aber manche Schwierigkeiten in der Interpretation und Nutzung der gewonnenen Bilddaten entgegen.

4. Das Multi-Konzept

Mit all diesen Systemen kann man die Gewinnung von Bildern aber noch um eine ganz wichtige Komponente erweitern, die als das »Multi-

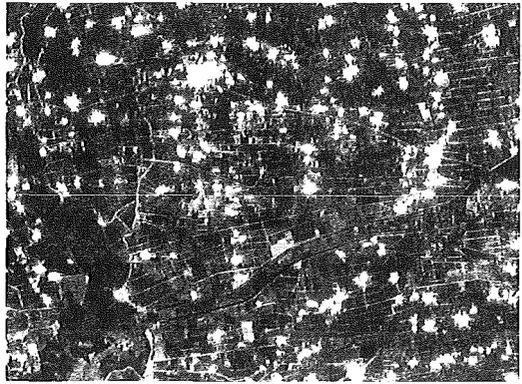


Abb. 5: Agrarlandschaft in China (Provinz Hebei) im Satelliten-Radarbild (Aufnahme SIR-A, 1981)

konzept« verstanden werden kann. Dazu gehören vor allem Multispektral-Bilder und Multitemporal-Bilder.

1. Als Multispektral-Bilder bezeichnen wir mehrere Bilder, die gleichzeitig in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen werden. Sie erfassen unterschiedliche Reflexionseigenschaften der abgebildeten Objekte, setzen sie in verschiedene Grauwerte um und enthalten deshalb Informationen über die Objektmaterialien (Abb. 6). Dieses Prinzip kann bis zu den abbildenden Spektrometern ausgebaut werden, mit denen sehr viele Bilder in engen Spektralbereichen gewonnen werden, so daß physikalische Objekteigenschaften detailliert erfaßt werden. Ein Beispiel ist das Digital Airborne Imaging Spectrometer (DAIS) mit 79 Spektralkanälen. Durch verschiedene Kombinationen von geeignet ausgewählten Kanälen kann man dann bestimmte Objekteigenschaften in Farbbildern visualisieren.
2. Multitemporal-Bilder sind dagegen Bilder eines Objektes oder einer Landschaft, die zu

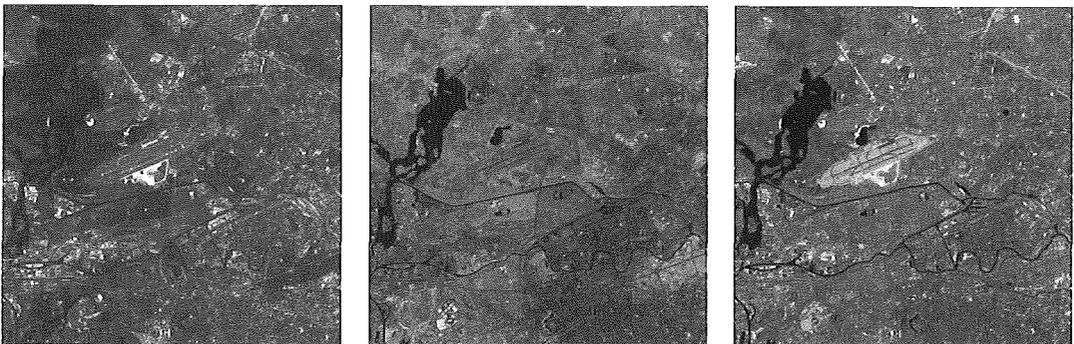


Abb. 6: Multispektrale Bilddaten: Thematic-Mapper-Daten von Berlin in den Kanälen 2 (0,52–0,60 μm), 4 (0,76–0,90 μm) und 5 (1,55–1,73 μm)

verschiedenen Zeiten aufgenommen wurden. Sie ermöglichen es, Veränderungen der wiedergegebenen Objekte festzustellen und zu dokumentieren.

Wir erkennen aus dieser summarischen Darstellung, daß die Möglichkeiten zur Gewinnung von Bildern in den letzten hundert Jahren immer mehr verfeinert und ganz wesentlich erweitert wurden. Dadurch können wir heute enorm viele und auch ganz verschiedenartige Objektinformationen in Form von Bildern aufzeichnen. Aber wie sieht es mit der Nutzung der in Bildern enthaltenen Informationen, mit der Auswertung aus?

5. Die Auswertung von Bildern

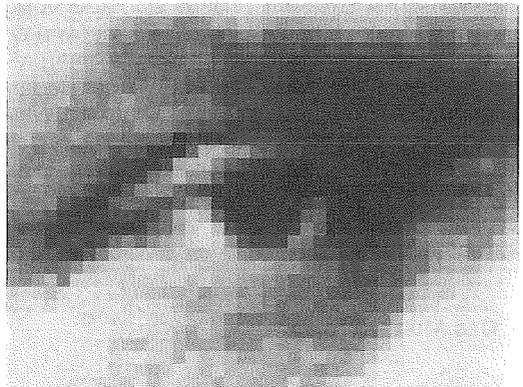
Dazu ist vorauszusetzen, daß wir heute jedes Bild in digitale Bilddaten überführen bzw. digitale Bilddaten in Bildform wiedergeben können. Der Unterschied wird deutlich, wenn man z.B. Albrecht Meydenbauer betrachtet und sich auf sein rechtes Auge konzentriert (Abb. 7). In einem stark

vergrößerten Ausschnitt der als Grauwerte wiedergegebenen digitalen Daten können wir das Auge immer noch erkennen. Aber die digitale Form, eine Tabelle von zeilen- und spaltenweise angeordneten Zahlenwerten, ist für uns als Menschen völlig unanschaulich. Dabei werden die Grauwerte des Bildes in diesen Zahlen sehr genau beschreiben und in beiden Darstellungen sind dieselben Informationen enthalten.

Offenbar kann dann die Auswertung von Bildern, die Informationsgewinnung auf zwei ganz verschiedene Weisen erfolgen, entweder durch visuelle Wahrnehmung und Interpretation der Bilder oder durch rechnerische Auswertung der Zahlenwerte durch Computer-Operationen.

5.1 Visuelle Wahrnehmung

Die visuelle Wahrnehmung ist uns allen aus dem täglichen Leben bestens vertraut, und jeder Mensch hat damit im Laufe seines Lebens einen ganz enormen Erfahrungsschatz gewonnen. Von diesen im alltäglichen Wahrnehmen unserer Um-



192	185	191	192	191	188	192	191	187	192	192	185	186	183	178	183	176	181	185	184	170	173	169	177	172	172	172	176	170	176	173	166	166	166	156	152	156	157	149	170		
192	188	192	192	185	186	178	156	146	130	129	130	115	112	122	142	130	157	146	130	123	128	130	138	143	152	151	151	156	152	138	120	112	122	123	120	121	125	138			
188	188	188	186	186	178	176	166	123	130	112	99	103	102	93	90	76	93	110	110	73	79	82	76	88	93	109	115	102	86	96	110	91	68	79	109	86	99	92	120		
188	192	188	188	186	177	157	130	109	93	103	96	86	88	102	82	58	52	58	65	42	40	46	39	42	54	46	58	52	45	40	59	58	46	42	65	65	68	88	83		
192	192	188	187	184	164	145	136	103	103	97	82	79	76	93	91	61	42	40	45	28	32	24	33	23	34	25	25	28	32	32	24	23	32	32	32	39	54	48	42	67	65
191	187	179	174	169	150	133	128	112	97	88	100	81	93	76	65	59	46	39	28	33	32	21	23	24	25	24	23	21	32	32	39	28	23	32	39	31	45	46	52		
172	165	156	149	143	131	116	112	116	93	112	109	103	86	65	59	54	40	40	42	28	28	21	24	25	21	23	20	32	28	24	21	21	24	23	25	28	33	34	39		
167	149	140	137	148	122	125	105	120	128	114	106	96	83	86	88	54	42	48	42	32	28	28	28	21	25	23	23	24	21	21	19	24	28	24	21	23	31	28	31		
151	146	149	133	120	110	106	109	115	124	113	112	122	106	100	90	72	61	42	32	39	33	28	28	21	23	24	25	23	21	23	21	24	20	23	23	32	32	25			
149	148	143	130	109	110	121	124	109	103	122	110	106	86	72	54	52	32	28	25	23	20	19	21	19	24	24	23	23	28	28	23	24	23	23	28	45	55	54	61	65	91
131	146	122	121	115	129	112	100	103	90	82	82	73	17	40	28	23	33	42	42	42	39	24	21	20	20	19	21	23	25	28	23	24	21	28	24	25	31	32	31		
129	120	103	115	112	97	86	102	61	67	58	33	24	33	82	141	142	125	124	82	65	46	48	32	28	24	20	20	21	23	21	20	23	21	24	32	48	46	54			
130	112	110	113	113	93	88	67	45	39	28	28	54	136	151	150	115	73	54	33	24	28	21	21	23	25	24	21	20	21	19	23	21	24	25	55	61	86	67	79		
122	113	128	110	103	81	82	61	23	31	34	90	122	149	125	122	72	28	20	20	19	20	15	20	24	19	25	21	20	21	21	23	23	28	45	55	54	61	65	91		
110	112	113	106	93	75	55	34	19	58	109	124	116	88	68	48	25	28	19	19	19	23	15	19	19	19	20	20	20	19	23	24	28	32	40	55	76	99				
112	105	102	107	59	34	23	20	61	79	73	59	48	72	110	113	28	17	19	17	15	21	20	33	52	23	17	19	21	19	24	31	40	42	54	67	82	73	105			
81	88	81	61	33	31	23	34	46	45	33	46	82	137	163	146	79	25	17	20	20	20	73	76	21	19	15	20	23	32	42	55	59	73	76	93	97	124				
72	58	59	40	32	31	39	32	28	28	42	73	96	133	168	181	152	59	34	23	28	24	42	106	75	23	20	24	20	24	28	52	81	99	97	83	96	106	115	148		
67	72	61	31	40	42	32	39	79	109	81	115	130	145	169	173	166	123	58	40	39	34	103	83	45	32	28	32	20	32	40	61	96	112	113	125	107	106	142	164		
99	83	61	61	46	33	61	105	143	156	159	159	145	159	149	152	159	146	118	99	91	92	83	68	52	58	42	34	45	46	52	75	86	118	130	136	133	131	149	173		
109	92	82	68	83	113	143	157	167	166	173	179	168	164	168	158	148	146	140	141	130	124	121	100	82	75	55	55	61	61	86	90	125	136	145	142	166	181	184			
114	105	123	145	91	166	169	176	172	163	163	167	165	166	149	163	142	142	130	125	118	105	82	81	82	82	59	54	54	73	61	96	130	150	159	165	164	181	184	193		
159	174	168	146	172	183	184	179	173	163	159	151	142	138	145	125	130	128	114	122	102	97	81	76	79	61	59	65	68	81	134	149	159	159	174	178	186	185	193			
172	183	185	179	187	187	185	185	184	177	181	176	176	152	134	133	136	140	124	118	106	82	100	93	76	81	82	82	75	92	97	150	168	179	188	185	186	187	194	200		
192	194	197	201	200	191	179	187	179	183	185	173	170	168	151	148	134	109	92	91	92	83	82	86	99	91	76	79	105	109	142	186	191	193	195	193	198	198	193	198		
197	198	201	203	195	194	194	193	185	184	181	173	173	151	133	152	133	110	110	110	109	110	96	92	99	99	113	96	103	133	163	197	197	197	197	193	201	198	194	200		
193	195	195	197	200	193	192	187	168	159	149	169	165	145	131	133	130	110	112	109	130	125	125	131	110	110	107	112	136	159	185	192	193	194	194	194	192	193	195	192		
200	203	194	194	200	192	194	191	178	184	187	174	167	143	168	152	159	146	129	129	131	134	124	141	143	133	129	148	161	186	195	194	198	200	197	198	201	200	197	194		
195	202	201	201	192	192	191	193	173	181	170	152	163	183	170	155	164	149	148	148	133	129	130	133	125	130	140	150	183	197	193	197	200	198	193	195	198	198	197	202		
201	200	200	192	187	186	176	172	166	185	156	173	172	161	159	140	159	143	133	133	130	166	138	143	165	177	186	188	193	194	201	194	197	194	193	193	197	197	194	194		

Abb. 7: Ein Porträt von Albrecht Meydenbauer (1834–1921) und die Vergrößerung seines rechten Auges als Grauwertbild und in digitalen Daten

welt gewonnenen Erfahrungen profitieren wir bei der Betrachtung und Interpretation von Bildern.

Beim Betrachten und Interpretieren eines Bildes spielen sich nämlich grundsätzlich dieselben Vorgänge ab wie beim direkten Sehen in unserer Umwelt [1]. Wir nehmen Konturen wahr und erkennen flächige Bereiche. Das Bild gliedert sich in Figur und Grund, wir sehen Objekte vor einem Hintergrund. Die Gegenstände sind offenbar aus verschiedenen Materialien. Ihre Oberflächen weisen bestimmte Formen, Farben und Strukturen auf. Wir – das heißt unsere unbewußten Wahrnehmungsvorgänge – ergänzen unvollständige Figuren zu Ganzheiten.

Und das alles spielt sich nicht etwa in der Ebene des betrachteten Bildes ab, sondern in einem Raum, den wir erkennen, einem Raum, der Höhe, Breite, Tiefe aufweist. Jedes Objekt hat in diesem Raum seinen bestimmten Ort. Eine Vielzahl von einzelnen Faktoren vermitteln uns diese Eindrücke. Unbewußt kombinieren wir diese Faktoren aufgrund unserer Erfahrung zu der jeweils wahrscheinlichsten Lösung. Nur in seltenen Ausnahmefällen können wir uns für keine Lösung entscheiden, beispielsweise bei den sogenannten »unmöglichen Figuren«, da bleibt ein uns irritierender Widerspruch unauflösbar. Die ebenen Zeichnungen der Abb. 8 werden zwar räumlich interpretiert, aber dreidimensionale Objekte können nicht wirklich so aussehen.

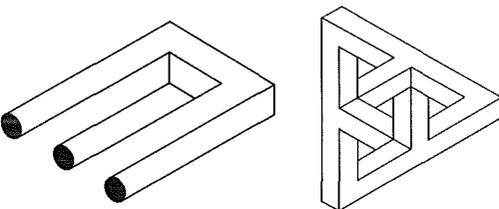


Abb. 8: »Unmögliche Figuren«

Dabei ist unsere visuelle Wahrnehmung nicht nur enorm leistungsfähig, sondern auch äußerst flexibel. Wir sehen in einem betrachteten Bild gewisse Objektformen und -strukturen unabhängig davon, ob ein Bild flau oder kontrastreich, vergilbt oder etwas unscharf ist, weitgehend auch unabhängig von der momentanen Beleuchtung. Unsere Wahrnehmung ist stabil, auch wenn wir den Kopf oder unseren ganzen Körper bewegen, sie kompensiert also die damit verbundenen Veränderungen des Netzhautbildes. Und dazu sind wir noch auf für unser menschliches Leben besonders wichtige Bildinformationen hochgradig trainiert, beispielsweise auf die Wahrnehmung von Gesichtern.

Dies geht so weit, daß wir sogar auf Gesichter in einer bestimmten Lage spezialisiert sind, nämlich auf unsere normale aufrechte Körperhaltung. In dieser Lage erkennen wir ein bestimmtes Gesicht wieder, lesen aus ihm etwas über den Menschen, sein Alter, sein Befinden usw. Aber wenn uns ein Gesicht in einer für uns ungewöhnlichen Lage dargeboten wird – wenn es etwa kopfstehend betrachtet wird – dann versagen unsere Fähigkeiten weitgehend. Unsere Wahrnehmungserfahrung kommt erst wieder zum Tragen, wenn die normale Lage eingenommen, das Bild also »richtig« betrachtet wird. Daß dies dann zu Überraschungen führen kann, zeigt die Abb. 9.

Unsere visuelle Wahrnehmung, das ist fürwahr eine faszinierende Leistung, und zwar nicht eine Einzelleistung, sondern ein ungeheuer komplexes und sehr effektives Zusammenspiel, das mehr ist als die Summe von einzelnen Vorgängen. Das Sehen – und dazu gehört eben auch die Interpretation von Bildern – ist kein einfach ablaufender Prozeß, an dessen Anfang ein bestimmtes physikalisches Reizmuster steht und an dessen Ende sich eine entsprechende Wahrnehmung ergibt. Es ist vielmehr eine aktive Leistung des menschlichen Gehirns. Unsere Erfahrungen und Erwartungen wirken sich darauf aus, sie werden aber ihrerseits auch daraus gespeist. In der Abb. 10 ist versucht, dies schematisch darzustellen.

5.2 Rechnerische Auswertung

Demgegenüber ist die rechnerische Auswertung von Bildern eine recht junge Angelegenheit. Wir sollten nicht verkennen, daß auf dem Gebiet des Computersehens schon viel erreicht worden ist: das Lesen von Schriften, das Steuern von vielen Robotern, die Erfassung von Geländeformen in der Photogrammetrie – nur einige Beispiele von automatischen Vorgängen, die vor Jahrzehnten noch für unmöglich gegolten hätten. Auf diesem Gebiet wurde und wird viel gearbeitet, und daß es dabei auch hohe Erwartungshorizonte gibt, das verraten so anspruchsvolle Begriffe wie Künstliche Intelligenz, Expertensysteme, Bildverstehen, Semantische Modellierung, Neuronale Netze und andere.

Tatsächlich gibt es bei der Gewinnung von Informationen aus Bildern auch Aufgaben, die ein Computer besser, schneller und zuverlässiger erledigen kann als es ein Mensch trotz aller seiner Fähigkeiten könnte. Wir sind beispielsweise kaum in der Lage, die Grauwertunterschiede in multispektralen Bilddaten visuell auszuwerten



Abb. 9: Zweimal die britische Premierministerin Margaret Thatcher. Unsere Wahrnehmung ist auf die »normale« Lage spezialisiert. Deshalb erkennt man erst nach dem Drehen des Bildes, daß das Gesicht rechts völlig entstellt ist.

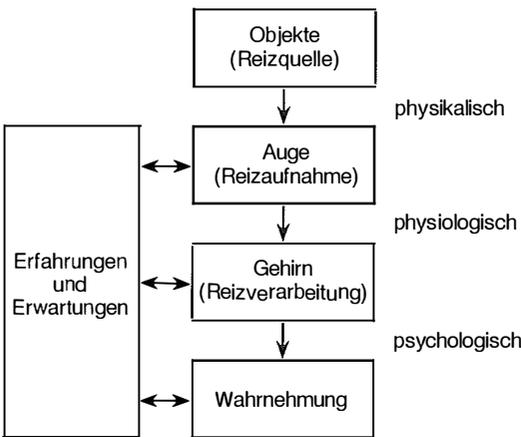


Abb. 10: Stark schematisierte Darstellung des Wahrnehmungsprozesses (aus [1])

(Abb. 6); ein Rechenprozeß leitet uns aber daraus eine Klassifizierung der Oberflächen, z.B. der Landnutzung, ab. Wir vermögen auch nicht gewisse Relationen zwischen einzelnen Bildern zu nutzen; rechnerisch können wir aus den Verhältnissen zwischen verschiedenen Spektralkanälen neue Bilddaten ableiten, die gewisse Phänomene erst sichtbar werden lassen, die beispielsweise Gesteine mit verschiedenen mineralischen Anteilen zeigen oder einen Index für die Vegetationsbedeckung darstellen. Es gibt also einzelne in Rechenfunktionen gut zu handhabende Methoden der Informationsgewinnung aus Bildern, bei denen der Rechner der visuellen Wahrnehmung eindeutig überlegen ist.

Aber – es gibt in diesem Zusammenhang noch einen anderen Aspekt: Auch ein überzeugter Anhänger der rechnerischen Bildauswertung weiß um die Überlegenheit der visuellen Wahrnehmung bei der Interpretation bildhafter Informationen. Deshalb werden die Ergebnisse rechnerischer Prozesse immer wieder in Bilder umgesetzt und dem staunenden Publikum in Bildform präsentiert. Die Skala solcher Visualisierungen reicht von den elektronenmikroskopischen Bildern über die medizinische Tomographie, die digitale Videotechnik, über die Satellitenbilder und daraus abgeleitete Perspektiven, bis zu den eindrucksvollen Bildern der Marsoberfläche oder der Jupitermonde, welche uns die Kameras von Raumflugmissionen im Sommer 1997 geliefert haben – alles in Bildform wiedergegebene digitale Daten.

Was uns beeindruckt, was uns Menschen unmittelbar reichhaltige und vielseitig nutzbare Information vermittelt, das sind also die Bilder, die erstellt werden, nicht aber die in Bits und Bytes gespeicherten digitalen Daten, zu denen wir mit unseren Sinnen keinen Zugang haben. Deshalb spielt im Computer-Bereich auch die Visualisierung von Daten eine so wichtige Rolle.

6. Ausblick

Es besteht kein Zweifel, daß die Methoden zur Gewinnung von Bilddaten weiter verfeinert und ausgebaut werden. Es kann auch kein Zweifel bestehen, daß die rechnerischen Verfahren zur

Gewinnung von Informationen aus Bildern noch viel weiter entwickelt werden, daß vieles möglich wird, das uns heute noch unerreichbar erscheint. Der Ausblick am Schluß dieser kurzen Betrachtung soll aber ein sehr menschliches Resümee sein.

Betrachten wir dazu die Skizze der Treppe in der Abb. 11. Es ist eine jener in sich widersprüchlichen Figuren; in diesem Fall können wir uns nicht entscheiden, ob die Treppe abwärts oder aufwärts führt. Als menschliche Betrachter der Szene sind wir zunächst irritiert, und wenn uns dies bewußt wird, dann akzeptieren wir die Unmöglichkeit und – beginnen zu lächeln.

Mit großer Wahrscheinlichkeit wird es eines Tages Computer-Methoden geben, die auch eine solche Zeichnung auszuwerten vermögen und feststellen können, daß da »etwas nicht stimmt«, vielleicht können sie auch die Art der Inkonsistenz dieser Information aus Bildern identifizieren. Aber es ist kaum vorstellbar, daß es eines Tages einen Computer geben wird, der sich dann ob dieser Erkenntnis in seinen Sessel zurücklehnt und beginnt, darüber zu lächeln.

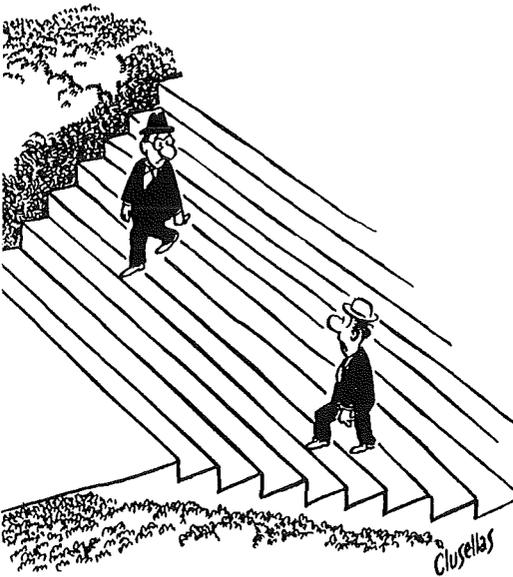


Abb. 11: Abwärts oder aufwärts?

Das Erleben von Freude und Schönheit, von Freundschaft und Vertrauen, von Verantwortung und Zuversicht usw., das alles sind menschliche Dimensionen, die unser Leben so reich und interessant machen, es sind Dimensionen, die technischen Systemen fremd sind und ihnen – nach unserem heutigen Verständnis – auch fremd bleiben werden.

So ist auch die Freude, die wir an diesem Festtag empfinden, etwas, das uns als Menschen erfüllt – ein Computer empfindet nichts dabei. Aber als Menschen sind wir erfüllt von Respekt und Dankbarkeit gegenüber unserem Jubilar. Ihm entbiete ich meine besten Grüße und Wünsche.

Literatur

- [1] *Albertz, Jörg* (Hrsg.), *Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten*. Schriftenreihe Freie Akademie, Band 17, Berlin 1997.
- [2] *Angerer, E. von*, *Wissenschaftliche Photographie*, 4. Auflage, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig 1950.
- [3] *Blachut, Teodor J.*: Die Frühzeit der Photogrammetrie bis zur Erfindung des Flugzeuges. In: *Geschichte der Photogrammetrie*, Band 1, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Sonderheft, Frankfurt am Main 1988, S. 17–62.
- [4] *Burkhardt, Rudolf*: *Analoge Verfahren und Instrumente*. In: *Geschichte der Photogrammetrie*, Band 1, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Sonderheft, Frankfurt am Main 1988, S. 65–172.
- [5] *Eder, Josef Maria*: *Geschichte der Photographie*. Handbuch der Photographie, 4. Auflage, 1. Band, 1. Teil, Verlag Wilhelm Knapp, Halle 1932.
- [6] *Fischer, William A.*: *History of Remote Sensing*. In: *Manual of Remote Sensing*, Vol. 1, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia (USA) 1975, S. 27–50.
- [7] *Konecny, Gottfried*: *Paradigmasprünge in der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vom ersten zum achtzehnten Kongreß in Wien*. *Vermessung & Geoinformation* 84 (1996) S. 313–320.
- [8] *Manek, Franz*: *Zeittafel der Bildmessung*. 14 Beiträge in: *Vermessungstechnik*, von Jahrgang 4 (1956) bis 7 (1959).
- [9] *Stenger, Erich*: *Die Photographie in Kultur und Technik*. Verlag E.A. Seemann, Leipzig 1938.
- [10] *Weiss, Max*: *Die geschichtliche Entwicklung der Photogrammetrie und die Begründung ihrer Verwendbarkeit für Meß- und Konstruktionszwecke*. Verlag Strecker & Schröder, Stuttgart 1913.

Anschrift des Autors:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Jörg Albertz, Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin